

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

A1

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number: **09268343 A**(43)Date of publication of application: **14.10.97**

(51)Int. Cl **C22C 38/00**
C22C 38/52
C22C 38/54
F01D 5/02

(21)Application number: **08073719**(22)Date of filing: **28.03.96**(30)Priority: **31.01.96 JP 08 14931**(71)Applicant: **MITSUBISHI HEAVY IND LTD**(72)Inventor: **KAMATA MASATOMO**
FUJITA AKIJI**(54)HEAT RESISTANT LOW ALLOY STEEL AND STEAM TURBINE ROTOR****(57)Abstract:**

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve toughness and high temp. strength characteristic by specifying the percentages of elements in an alloy.

SOLUTION: This alloy has a composition consisting of, by weight, 0.05-0.30% C, 0.005-0.3% Si, 0.01-1.0% Mn, 0.8-3.5% Cr, 0.1-2.0% Ni, 0.1-3.5% Co, 0.05-0.4% V, 0.1-2.5% Mo, and Fe. Within the above proper ranges, respective elements function as in the following: C has a function of securing hardenability at the time of heat

treatment and improves material strength; Si acts as a deoxidizer; Mn functions as a deoxidizer and also prevents time cracking at forging and improves hardenability at heat treatment; Cr improves hardenability at heat treatment and also forms carbides to improve creep rupture strength and oxidation resistance; Ni increases hardenability at heat treatment and improves tensile strength and proof stress and particularly toughness; Co strengthens the matrix itself and increases tempering softening resistance; V and Mo increase hardenability at heat treatment and improve creep rupture strength.

COPYRIGHT: (C)1997,JPO

Table 3

| | |
|--------------|-------------|
| 0.05-0.3 C | |
| 0.005-0.3 Si | |
| 0.01-1 Mn | |
| 0.8-3.5 Cr | |
| 0.05-0.4 V | |
| 0-2.24 W | |
| Ti | |
| 0-0.05 Nb | |
| 0-0.04 N | |
| 0-0.005 B | |
| Fe | |
| | 0.1-2.2 Ni |
| | 0.1-3.5% Co |
| | 0.1-2.5 Mo |
| | no Ti |

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-268343

(43) 公開日 平成9年(1997)10月14日

| (51) Int.Cl. ⁶ | 識別記号 | 庁内整理番号 | F I | 技術表示箇所 |
|---------------------------|-------|--------|---------------|---------|
| C 2 2 C 38/00 | 3 0 1 | | C 2 2 C 38/00 | 3 0 1 A |
| 38/52 | | | 38/52 | |
| 38/54 | | | 38/54 | |
| F 0 1 D 5/02 | | | F 0 1 D 5/02 | |

審査請求 未請求 請求項の数4 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平8-73719

(22) 出願日 平成8年(1996)3月28日

(31) 優先権主張番号 特願平8-14931

(32) 優先日 平8(1996)1月31日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000006208

三菱重工業株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目5番1号

(72) 発明者 鎌田 政智

長崎県長崎市深堀町五丁目717番1号 三

菱重工業株式会社長崎研究所内

(72) 発明者 藤田 明次

長崎県長崎市深堀町五丁目717番1号 三

菱重工業株式会社長崎研究所内

(74) 代理人 弁理士 光石 俊郎 (外2名)

(54) 【発明の名称】 低合金耐熱鋼および蒸気タービンロータ

(57) 【要約】

【課題】 韌性が高くかつ高温強度特性に優れた低合金耐熱鋼に関し、火力発電用耐熱構造部材とくに蒸気タービンロータを提供する。

【解決手段】 本発明は、重量比で炭素：0.05～0.30%、シリコン：0.005～0.3%、マンガン：0.01～1.0%、クロム：0.8～3.5%、ニッケル：0.1～2.0%、コバルト：0.1～3.5%、バナジウム：0.05～0.4%、モリブデン：0.1～2.5%及び鉄からなる。

【特許請求の範囲】

【請求項1】 重量比で炭素：0.05～0.30%、シリコン：0.005～0.3%、マンガン：0.01～1.0%、クロム：0.8～3.5%、ニッケル：0.1～2.0%、コバルト：0.1～3.5%、バナジウム：0.05～0.4%、モリブデン：0.1～2.5%及び鉄からなることを特徴とする低合金耐熱鋼。

【請求項2】 請求項1記載の低合金耐熱鋼において、鉄の一部を、タングステン、ニオブ、タンタル、窒素又はボロンのいずれ1種以上で置換し、重量比がタングステン：0.1～3.0%、ニオブ：0.01～0.15%、タンタル：0.01～0.15%、窒素：0.01～0.1%、ボロン：0.001～0.03%であることを特徴とする低合金耐熱鋼。

【請求項3】 請求項1又は2記載の低合金耐熱鋼において、ニッケルを鉄で置換し、不純物として含有されるものを除いてはニッケルを含まないことを特徴とする低合金耐熱鋼。

【請求項4】 請求項1～3の低合金耐熱鋼により蒸気タービンロータが構成されてなることを特徴とする蒸気タービンロータ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、靱性が高くかつ高温強度特性に優れた低合金耐熱鋼に関し、火力発電用耐熱構造部材とくに蒸気タービンロータに利用して好適なものである。

【0002】

【従来の技術】 一般に、火力発電用蒸気タービンプラントに用いられる高温用ロータ材としては、低合金系のCrMoV鋼や高Cr系の12Cr鋼が挙げられる。このうちCrMoV鋼は、高温強度の限界から566℃までの蒸気温度のプラントに制限され、然も蒸気温度によっては、ロータを冷却する必要があり構造が複雑になる。

【0003】 一方、12Cr鋼製のロータ材（例えば特開昭60-165359号公報、特開昭62-103345号公報参照）は、高温強度がCrMoV鋼よりも優れているため、最高600℃程度の蒸気温度のプラントに適用することも可能であるが、その素材の製造が難しく高コストになる。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 そこで、本発明は、製造が容易で安価な低合金系の耐熱鋼で、従来材のCrMoV鋼に比べて靱性が高く、かつ高温強度特性に優れた新しい低合金耐熱鋼、およびこの新耐熱鋼より構成される高温用蒸気タービンロータを提供するものである。

【0005】

【課題を解決するための手段】 前記課題を解決するため、本発明者は鋭意研究を重ねた結果、所定の合金配合

とすることにより、以下に示す優れた低合金耐熱鋼およびこの耐熱鋼から構成されるタービンロータを得ることを知見し本発明を完成した。

【0006】 かかる知見に基づく本発明は、以下の事項により特定されるものである。

【0007】 <請求項1に係る発明> 請求項1に係る低合金耐熱鋼は、重量比で炭素：0.05～0.30%、シリコン：0.005～0.3%、マンガン：0.01～1.0%、クロム：0.8～3.5%、ニッケル：0.1～2.0%、コバルト：0.1～3.5%、バナジウム：0.05～0.4%、モリブデン：0.1～2.5%及び鉄からなることを特徴とするものである。

【0008】 <請求項2に係る発明> 請求項2に係る低合金耐熱鋼は、請求項1記載の低合金耐熱鋼において、鉄の一部を、タングステン、ニオブ、タンタル、窒素又はボロンのいずれ1種以上で置換し、重量比がタングステン：0.1～3.0%、ニオブ：0.01～0.15%、タンタル：0.01～0.15%、窒素：0.01～0.1%、ボロン：0.001～0.03%であることを特徴とするものである。

【0009】 <請求項3に係る発明> 請求項3に係る低合金耐熱鋼は、請求項1又は2記載の低合金耐熱鋼において、ニッケルを鉄で置換し、不純物として含有されるものを除いてはニッケルを含まないことを特徴とするものである。

【0010】 <請求項4に係る発明> 請求項4に係る蒸気タービンロータは、請求項1～3の低合金耐熱鋼により蒸気タービンロータが構成されてなることを特徴とするものである。

【0011】

【発明の実施の形態】 以下、本発明の実施の形態を請求項1の発明から順に説明する。

【0012】 先ず、請求項1に係る低合金耐熱鋼の内容について説明する。

【0013】 請求項1に係る低合金耐熱鋼は、炭素、シリコン、マンガン、クロム、ニッケル、コバルト、バナジウム、モリブデン、モリブデン及び残部が鉄並びに不可避免的な不純物からなる組成であり、その重量比を炭素：0.05～0.30%、シリコン：0.005～0.3%、マンガン：0.01～1.0%、クロム：0.8～3.5%、ニッケル：0.1～2.0%、コバルト：0.1～3.5%、バナジウム：0.05～0.4%、モリブデン：0.1～2.5%及び残部が鉄並びに不可避免的な不純物からなるものを提案するものである。また、この特定の組成による低合金耐熱鋼より蒸気タービンロータを構成するものを提案するものである。

【0014】 【作用】 本発明者らは、CrMoV鋼を基本成分として合金元素の厳選を行って高温強度の改善を鋭意行い、優れた高温特性を有する新しい高温用蒸気タービンロータに適応できる低合金耐熱鋼材を得るに至っ

た。

【0015】以下に本発明材における成分限定理由を述べる。

【0016】炭素(C)：重量比は0.05～0.30%である。ここで、炭素は、熱処理時の焼入れ性を確保するとともに材料強度を高める効果がある。また、炭化物を形成して高温におけるクリーブ破断強度の向上に寄与する。しかし、本合金系では0.05%未満の添加では十分な効果は得られない。一方、炭素の添加量が多すぎると靱性が低下し、かつ、高温での使用中に炭空化物が凝集粗大化して、高温長時間クリーブ破断強度を劣化させる。そのため添加量の上限を0.30%とする。よって、添加範囲は、0.05～0.30%が望ましいが、強度特性と優れた靱性を兼ね揃えるために特に望ましい範囲は0.10～0.25%である。

【0017】シリコン(Si)：重量比は0.005～0.3%である。ここで、シリコンは、脱酸材としての効果がある反面、基地を脆化させる元素である。脱酸効果を十分に期待する場合、最大0.3%までの添加を許容するが、本発明材の製造において、製鋼過程で真空カーボン脱酸法を適用する場合は、とくにシリコンによる脱酸効果をさほど期待しなくてもよく、添加量を最小限度にとどめることが可能となる。しかし、極端にシリコン量を低くすると原料の厳選が必要となりコストが上昇するため下限を0.005%とする。よって、添加範囲は0.005～0.3%とするのが望ましい。但し、真空カーボン脱酸法を採用することを前提とする場合は、望ましい範囲は、0.005～0.05%である。

【0018】マンガン(Mg)：重量比は0.01～1.0%である。ここで、マンガンは脱酸材として作用するとともに鍛造時の熱間割れを防止するのに有用な元素である。また、熱処理時の焼入れ性を高める作用がある。しかし、マンガンを加えるとその量に応じてクリーブ破断強度が劣化し、また本質的には鉄鋼の脆化を進める元素でもあるため、添加の最大量を1.0%とした。また、特に0.15%以下に抑えるとクリーブ破断強度はさらに改善される。このため、必要に応じて0.15%以下に抑えて添加することが必要である。ただし、0.01%以下に制御するためには原料鋼の厳選と過度の精錬工程が必要となりコスト高を招くため、最低量を0.01%に設定している。よって、添加範囲は0.01～1.0%が望ましいが、更に望ましい成分範囲は0.01～0.15%である。

【0019】クロム(Cr)：重量比は0.8～3.5%である。ここで、クロムは、熱処理時の焼入れ性を高めるとともに炭化物を形成してクリーブ破断強度の改善に寄与し、かつマトリックス中に溶け込んで耐酸化性を改善する。また、マトリックス自体を強化することでもクリーブ破断強度の向上に寄与する。添加量は0.8%未満であるとその効果が十分でなく、3.5%を超える量を添加すると、本合金系ではクリーブ破断強度が低下する傾向

にある。よって、添加範囲は0.8～3.5%が望ましいが、更に望ましい範囲は1.2～2.0%である。

【0020】ニッケル(Ni)：重量比は0.1～2.0%である。ここで、ニッケルは熱処理時の焼入れ性を高め、引張強さや耐力を向上させるほか、特に靱性を高めるのに有効である。添加量が0.1%以下であれば顕著な効果は期待されないため、下限値を0.1%とする。一方、長時間クリーブ破断強度はニッケル添加により低下するため、添加量の上限を2.0%に制限している。よって、添加範囲は0.1～2.0%が望ましいが、クリーブ破断強度を重視する場合、望ましい添加量は0.1～0.6%であり、更に、引張強さや耐力、靱性を重視する場合、望ましい添加量は1.5～2.0%である。

【0021】コバルト(Co)：重量比は0.1～3.5%である。ここで、コバルトはマトリックスに固溶して基地自体を強化するとともにフェライトの生成を抑制する。さらにコバルトは焼戻し軟化抵抗を高める作用があり、強度の靱性のバランスを図るためにも有用である。コバルトの添加の効果が現れるのは添加量が0.1%以上であるが、3.5%を超える量を添加すると、炭化物の析出を促進してしまうために、長時間のクリーブ破断強度を劣化させてしまう。加えてコバルト自体高価な材料であるため、多量の添加はコスト高を招く。よって、添加範囲は0.1～3.5%が望ましいが、特に望ましい添加量は1.5～2.5%である。

【0022】バナジウム(V)：重量比は0.05～0.4%である。ここで、バナジウムは熱処理時の焼入れ性を高めるとともに炭空化物となってクリーブ破断強度を改善する。0.05%未満では十分な効果が得られない。また、逆に0.4%を超える量を添加すると、むしろクリーブ破断強度が低下してしまう。よって、添加範囲は0.05～0.4%が望ましい。

【0023】モリブデン(Mo)：重量比は0.1～2.5%である。ここで、モリブデンは熱処理時の焼入れ性を高めるとともにマトリックス中や炭空化物中に固溶してクリーブ破断強度を改善する。添加量が0.1%以下であれば顕著な効果は期待されない。一方、多量に添加すると不安定な析出物が増加するとともに脆化を引き起こすために、添加量の上限を2.5%に制限している。よって、添加範囲は0.1～2.5%が望ましい。

【0024】〔実施例〕以下に実施例に基づいて本発明を説明する。

【0025】「表1」には試験に供した材料の化学成分を示す。ここで、「表1」中、試料番号1～6及びX1、X2が本発明材、試料番号7～9が比較材に相当する。全ての材料は、50kg真空高周波溶解炉にて溶製し、加熱温度：1200℃にて鍛造を行った。各種試験に用いた試験材熱処理は、胴径1200φのロータを油冷したときの中心部を模擬した焼入れ処理を行い、次いで焼もどしは0.2%耐力がおよそ70±3kgf/mm²にな

るように各材料の焼もどし温度を決めて行った。

【表 1】

【0026】

表 1 請求項 (1) 項の実施例で用いた試験材の化学成分 (重量%)

| | 試料番号 | C | Si | Mn | Ni | Cr | Mo | V | Co | Fe |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| 本 発 明 材 | 1 | 0.11 | 0.20 | 0.52 | 1.82 | 1.42 | 1.61 | 0.20 | 1.02 | 残り |
| | 2 | 0.12 | 0.07 | 0.14 | 1.48 | 3.00 | 0.99 | 0.27 | 1.79 | 残り |
| | 3 | 0.15 | 0.08 | 0.47 | 0.18 | 2.04 | 1.48 | 0.24 | 0.49 | 残り |
| | 4 | 0.15 | 0.10 | 0.14 | 0.20 | 1.40 | 1.51 | 0.26 | 1.04 | 残り |
| | 5 | 0.16 | 0.09 | 0.12 | 0.19 | 1.38 | 2.25 | 0.22 | 2.95 | 残り |
| | 6 | 0.22 | 0.11 | 0.13 | 0.13 | 1.20 | 0.52 | 0.25 | 1.02 | 残り |
| | X 1 | 0.26 | 0.11 | 0.13 | 0.18 | 1.34 | 1.50 | 0.25 | 1.02 | 残り |
| | X 2 | 0.28 | 0.11 | 0.13 | 0.23 | 1.47 | 0.52 | 0.25 | 1.48 | 残り |
| 比 較 材 | 7 | 0.27 | 0.23 | 0.76 | 0.36 | 1.13 | 1.12 | 0.23 | — | 残り |
| | 8 | 0.29 | 0.06 | 0.91 | 0.85 | 1.30 | 1.25 | 0.24 | — | 残り |
| | 9 | 0.16 | 0.20 | 0.54 | 1.50 | 4.10 | 1.49 | 0.22 | — | 残り |

【0027】「表 2」に本発明材及び比較材の機械的性質およびクリープ破断特性を示す。

【0028】

【表 2】

表 2 請求項 (1) 項の実施例で用いた試験材の機械的特性およびクリープ破断特性

| | 試料番号 | 0.2%耐力 (kgf/mm ²) | シャルピー衝撃 吸収エネルギー (kgf-m) | 600℃-15kgf/mm ² クリープ破断時間 (h) |
|------------------|------|----------------------------------|-------------------------------|---|
| 本 発 明 材 | 1 | 68.7 | 19.2 | 4085 |
| | 2 | 70.2 | 19.8 | 3820 |
| | 3 | 69.4 | 9.6 | 5368 |
| | 4 | 72.0 | 8.6 | 6074 |
| | 5 | 71.3 | 8.4 | 6259 |
| | 6 | 72.5 | 4.3 | 5560 |
| | X 1 | 68.9 | 3.2 | 6223 |
| | X 2 | 67.4 | 2.6 | 5768 |
| 比 較 材 | 7 | 69.1 | 1.4 | 3529 |
| | 8 | 70.9 | 1.8 | 3307 |
| | 9 | 72.2 | 7.7 | 1863 |

「表 2」に示すように、本発明材のうち、鋼種 1, 2 は靱性を重視した鋼種であり、鋼種 3, 4, 5, 6 及び X 1, X 2 は、クリープ破断強度を重視した鋼種である。

【0029】本発明材のシャルピー衝撃吸収エネルギー (常温試験) は、いずれも 2.5 kgf-m 以上の高い値を示しており、十分に高い衝撃値を確保できていることが判る。特に靱性を重視した鋼種 1, 2 は、1.9 kgf-m 以上の飛躍的に高い値を示している。

【0030】600℃で 15 kgf/mm² の荷重を負荷した場合のクリープ破断時間に着目すると、本発明材は比較材に較べて破断時間が延びており、特にクリープ破断強度を重視した鋼種 3, 4, 5, 6 及び X 1, X 2 は顕著なクリープ破断特性の向上が認められる。以上のことは、本発明における、各種元素の適切な成分設計が靱性およびクリープ破断強度の向上に有効であることを示唆している。

【0031】【効果】以上のように、本発明の低合金耐熱鋼は、優れた高温強度および靱性を有するため、高温用蒸気タービンロータ材として有用である。本発明によ

り、低コストで高効率の発電プラントの建設が可能となり、化石燃料の節約に寄与するとともに二酸化炭素の発生量を抑制するうえで有用である。

【0032】つづいて請求範囲 (2) 項について説明する。

【0033】【手段】次に、請求項 2 の低合金耐熱鋼の内容について説明する。

【0034】請求項 2 の低合金耐熱鋼は、請求項 1 の低合金耐熱鋼において、鉄の一部を、タングステン、ニオブ、タンタル、窒素、ボロンのいずれか 1 種以上で置換し、重量比でタングステン: 0.01~3.0%、ニオブ: 0.01~0.15%、タンタル: 0.01~0.15%、窒素: 0.01~0.1%、ボロン: 0.001~0.03% のいずれか 1 種以上を含有するものを提案するものである。また、この特定の組成による低合金耐熱鋼より蒸気タービンロータを構成するものを提案するものである。

【0035】【作用】本発明者らは、CrMoV 鋼を基本成分として合金元素の厳選を行って高温強度の改善を鋭意行い、請求項 (1) の低合金耐熱鋼を提案したが、

更に韌性が高くかつ優れた高温特性を有する新しい高温用蒸気タービンロータ材に適用できる低合金耐熱鋼材を得るに至った。

【0036】以下に本発明材における成分限定理由を述べる。なお、上述した請求項(1)で既に述べた成分については限定理由は同じあるので、ここでは、新たな成分であるタングステン、ニオブ、タンタル、窒素、ボロンについてのみ説明する。

【0037】タングステン(W)：重量比は0.1～3.0%である。ここで、タングstenはマトリックス中や炭窒化物中に固溶してクリーブ破断強度を改善する。添加量が0.1%以下であれば顕著な効果は期待されない。一方、過剰に添加するとフェライト相が出現、増加するため添加量の上限を3.0%に制限している。よって、添加範囲は0.1%～3.0%が望ましい。

【0038】ニオブ(Nb)：重量比は0.01～0.15%である。ここで、ニオブは炭窒化物を形成して高温強度の改善を寄与する。また、高温で析出する炭化物あるいは炭窒化物($M_{23}C_6$)を微細にして長時間クリーブ破断強度の改善に寄与する。添加量が0.01%未満ではその効果はなく、また0.15%を超える量を添加すると、鋼塊製造時に生成したニオブの炭化物あるいは炭窒化物が熱処理(溶体化処理)時にマトリックスに十分に固溶できず、使用中に粗大化して長時間のクリーブ破断強度を低下させる。よって、添加範囲を0.01%～0.15%が望ましい。

【0039】タンタル(Ta)：重量比は0.01～0.15%である。ここで、タンタルはニオブと同じく炭窒化物を形成して高温強度の改善に寄与する。また、高温で析出する炭化物あるいは炭窒化物($M_{23}C_6$)を微細にして長時間クリーブ破断強度の改善に寄与する。添加量が0.01%未満ではその効果はなく、また0.15%を超える量を添加すると、鋼塊製造時に生成したタンタルの炭化物あるいは炭窒化物が熱処理(溶体化処理)時にマトリックスに十分に固溶できず、使用中に粗大化して長時間のクリーブ破断強度を低下させる。よって、添加範囲は0.01%～0.15%が望ましい。

【0040】窒素(N)：重量比は0.01～0.1%である。ここで、窒素は炭素や合金元素とともに炭窒化物を

形成して高温強度の改善に寄与する。0.01%未満では、十分な炭窒化物を形成することができないために、クリーブ破断強度への寄与が十分に得られない。また、0.1%を超える量を添加すると、長時間側で炭窒化物が凝集粗大化して、十分なクリーブ破断強度を得ることができなくなる。また、韌性の低下も引き起こす。よって、添加範囲は0.01～0.1%が望ましい。

【0041】ボロン(B)：重量比は0.001～0.03%である。ここで、ボロンは、粒界強度を高くする作用がある。このため、クリーブ破断強度の改善に寄与する。しかし、多量に添加すると熱間加工性が悪くなるとともに、韌性が低下する。したがって、実際に添加量を制御できる最低量の0.001%を下限値とし、上限値を悪影響が現れない0.03%とする。よって、添加範囲は0.001～0.03%が望ましく、韌性の低下を考慮しつつクリーブ破断強度の改善に寄与するために特に望ましい範囲は0.005～0.02%である。

【0042】〔実施例〕以下に実施例に基づいて本発明を説明する。

【0043】「表3」には、試験に供した材料の化学成分を示す。試料番号10、11は、請求項(1)に示した鋼種1をベース材とし各種元素を添加して、非常に高い韌性を鋼種1と同程度に保ちながら、クリーブ破断強度の向上を図った鋼種である。試料番号12～16は、請求項(1)に示した鋼種4、5をベース材とし各種元素を添加して、良好な韌性を鋼種2と同程度に保ちながら、クリーブ破断強度のさらなる向上を図った鋼種である。試料番号X3～X5は、請求項(1)に示した鋼種X1及びX2をベース材とし、韌性を鋼種X1及びX2と同程度に保ちながら、クリーブ破断強度のさらなる向上を図った鋼種である。全ての材料は、50kg真空高周波溶解炉にて溶製し、加熱温度：1200℃にて鍛造を行った。各種試験に用いた試験材熱処理は、胴径1200φのロータを油冷したときの中心部を模擬した焼入れ処理を行い、次いで焼もどしは0.2%耐力がおおよそ70kgf/mm²になるように各材料の焼もどし温度を決めて行った。

【0044】

【表3】

表3 請求項(2)項の実施例で用いた試験材の化学成分(重量%)

| 試料 番号 | C | Si | Mn | Ni | Cr | Mo | V | Co | W | Nb | Ta | N | B | Fe |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|----|
| 10 | 0.11 | 0.21 | 0.48 | 1.80 | 1.40 | 0.42 | 0.18 | 1.04 | 1.80 | 0.05 | — | 0.03 | 0.004 | 残り |
| 11 | 0.12 | 0.19 | 0.49 | 1.84 | 1.37 | 0.97 | 0.18 | 0.98 | 1.25 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | — | 残り |
| 12 | 0.14 | 0.11 | 0.14 | 0.20 | 1.38 | 1.52 | 0.24 | 1.03 | — | 0.05 | — | 0.03 | 0.005 | 残り |
| 13 | 0.14 | 0.13 | 0.13 | 0.18 | 1.38 | 0.32 | 0.25 | 1.03 | 2.24 | 0.05 | — | 0.04 | 0.005 | 残り |
| 14 | 0.15 | 0.11 | 0.17 | 0.18 | 1.41 | 0.49 | 0.24 | 1.04 | 1.98 | 0.04 | 0.02 | — | — | 残り |
| 15 | 0.15 | 0.10 | 0.13 | 0.20 | 1.38 | 0.45 | 0.23 | 2.93 | 2.04 | — | 0.04 | 0.03 | — | 残り |
| 16 | 0.16 | 0.12 | 0.14 | 0.10 | 1.38 | 1.46 | 0.23 | 2.92 | 1.55 | 0.05 | 0.03 | — | — | 残り |
| X3 | 0.26 | 0.10 | 0.11 | 0.19 | 1.33 | 1.48 | 0.25 | 0.99 | 0.73 | 0.03 | — | 0.01 | 0.003 | 残り |
| X4 | 0.26 | 0.12 | 0.12 | 0.18 | 1.35 | 1.48 | 0.24 | 0.98 | 1.47 | 0.03 | 0.02 | — | 0.003 | 残り |
| X5 | 0.29 | 0.09 | 0.13 | 0.24 | 1.45 | 0.50 | 0.24 | 1.50 | 1.83 | 0.03 | — | — | — | 残り |

【0045】「表4」に本発明材の機械的性質およびクリープ破断特性を示す。

【0046】

【表4】

表4 請求項(2)項の実施例で用いた試験材の機械的性質およびクリープ破断特性

| 試料番号 | 0.2%耐力 (kgf/mm ²) | シャルピー衝撃 吸収エネルギー (kgf-m) | 600°C-15kgf/mm ² クリープ破断時間 (h) |
|------|----------------------------------|-------------------------------|--|
| 10 | 68.0 | 18.4 | 5752 |
| 11 | 67.8 | 19.3 | 5406 |
| 12 | 70.5 | 8.8 | 7185 |
| 13 | 71.8 | 7.1 | 9722 |
| 14 | 69.4 | 7.5 | 11094 |
| 15 | 69.7 | 8.0 | 13218 |
| 16 | 69.3 | 6.8 | 15840 |
| X3 | 68.6 | 3.0 | 9803 |
| X4 | 68.2 | 3.3 | 10924 |
| X5 | 69.4 | 2.5 | 9154 |

【0047】「表4」に示すように、鋼種10～11の特性を、「表2」に示した鋼種1の特性と比較すると、シャルピー衝撃吸収エネルギー(常温試験)は鋼種1と同程度の非常に高いレベルを保っており、かつ、600°Cで15kgf/mm²の荷重を負荷した場合のクリープ破断時間も延びている。

【0048】鋼種12～16の特性を鋼種4、5と比較すると、シャルピー衝撃吸収エネルギー(常温試験)は最低でも6.8kgf-mの良好なレベルを保っており、かつ、600°Cで15kgf/mm²の荷重を負荷した場合のクリープ破断時間も確実に延びている。鋼種X3～X5の特性を鋼種X1及びX2と比較すると、同程度の衝撃吸収エネルギー(常温試験)を保ちながらクリープ破断時間も確実に延びている。

【0049】以上のことは、請求項(1)の成分系を基本として、適切な元素を添加することは、靱性を保った

まま、あるいは靱性の低下を極力抑えたまま、クリープ破断強度を向上させるのに有効であることを示唆している。

【0050】[効果] 以上のように、本発明の低合金耐熱鋼は、請求項1の低合金耐熱鋼と同程度の靱性を保持しつつ更に優れた高温強度を発揮するため、高温用蒸気タービンロータ材として有用である。本発明により、低コストで高効率の発電プラントの建設が可能となり、化石燃料の節約に寄与するとともに二酸化炭素の発生量を抑制するうえで有用である。

【0051】[手段] 次に、請求項3の低合金耐熱鋼の内容について説明する。

【0052】請求項3の低合金耐熱鋼は、ニッケルを鉄で置換し、不純物として含有されるものを除いてはニッケルを含まないことを提案するものである。また、この特定の組成による低合金耐熱鋼より蒸気タービンロータ

を構成するものを提案するものである。

【0053】すなわち、本発明材は、上述した請求範囲（１）および（２）項の発明材に含まれるニッケルを全て排除し（但し、不純物として不可避免的に含有されるものについては除く。）、これを鉄で置換することを特徴とするものである。

【0054】以下に成分限定の理由を述べるが、ニッケル以外の元素については請求項１及び２の発明材と同じであるのでここでは省略し、とくにニッケルを排除する目的および作用についてのみ説明する。

【0055】ニッケルは熱処理時の焼入れ性を高め、引張強さや耐力を向上させるほか、特に靱性を高めるのに有効である。従って、主として靱性の確保を目的とし、通常のタービンロータ用耐熱鋼には、少なくとも0.5％程度のニッケルが添加されている。一方、ニッケルは長時間クリープ破断強度に対しては悪影響を及ぼし、添加量にしたがって破断強度が低下してしまう。そこで、クリープ破断特性をより一層高めることを第一の目標とし、ニッケル添加による靱性の向上を期待せず、これを排除した点に本請求項の発明の新規性がある。

【0056】以下、実施例にしたがって説明する。

【0057】〔実施例〕「表５」には試験に供した材料の化学成分を示す。全ての材料は、50kg真空高周波溶解炉にて溶製し、加熱温度：1200℃にて鍛造を行った。各種試験に用いた試験材熱処理は、胴径1200φのロータを油冷したときの中心部を模擬した焼入れ処理を行い、次いで焼もどしは0.2％耐力がおよそ70kgf/mm²になるように各材料の焼もどし温度を決めて行った。試料番号17は請求項１の実施例で用いた鋼種４の成分をベースとして、ニッケルを排除した本発明材、試料番号18は請求項１の実施例で用いた鋼種５の成分をベースとして、ニッケルを排除した本発明材、試料番号19は請求項２の実施例で用いた鋼種13の成分をベースとして、ニッケルを排除した本発明材、試料番号20は請求項２項の実施例で用いた鋼種15の成分をベースとして、ニッケルを排除した本発明材、試料番号X6は請求項（１）の実施例で用いた鋼種X1の成分をベースとしてニッケルを排除した本発明材、また、試料番号X7は請求項（２）の実施例で用いた鋼種X4の成分をベース材としてニッケルを排除した本発明である。

【0058】

【表５】

表５ 請求項（３）項の実施例で用いた試験材の化学成分（重量％）

| 試料番号 | C | Si | Mn | Ni | Cr | Mo | V | Co | W | Nb | Ta | N | B | Fe |
|------|------|------|------|----|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|----|
| 17 | 0.15 | 0.13 | 0.15 | — | 1.40 | 1.53 | 0.25 | 1.02 | — | — | — | — | — | 残り |
| 18 | 0.17 | 0.11 | 0.14 | — | 1.37 | 2.20 | 0.23 | 2.91 | — | — | — | — | — | 残り |
| 19 | 0.13 | 0.11 | 0.12 | — | 1.40 | 0.33 | 0.25 | 1.01 | 2.22 | 0.05 | — | 0.04 | 0.004 | 残り |
| 20 | 0.15 | 0.12 | 0.13 | — | 1.39 | 0.45 | 0.24 | 2.94 | 2.01 | — | 0.04 | 0.04 | — | 残り |
| X6 | 0.26 | 0.12 | 0.12 | — | 1.33 | 1.48 | 0.24 | 1.02 | — | — | — | — | — | 残り |
| X7 | 0.27 | 0.11 | 0.13 | — | 1.35 | 1.50 | 0.24 | 0.99 | 1.47 | 0.03 | 0.02 | — | 0.002 | 残り |

【0059】「表６」に本発明材の機械的性質およびクリープ破断特性を示す。

【0060】

【表６】

表６ 請求項（３）項の実施例で用いた試験材の機械的特性およびクリープ破断特性

| 試料番号 | 0.2％耐力 (kgf/mm ²) | シャルピー衝撃 吸収エネルギー (kgf-m) | 600℃-15kgf/mm ² クリープ破断時間 (h) |
|------|----------------------------------|-------------------------------|---|
| 17 | 71.4 | 6.1 | 7369 |
| 18 | 70.9 | 4.6 | 7810 |
| 19 | 71.2 | 4.9 | 11345 |
| 20 | 70.3 | 5.5 | 15726 |
| X6 | 69.2 | 2.7 | 7603 |
| X7 | 68.8 | 2.9 | 12107 |

【0061】「表６」に示すように、本発明材のシャルピー衝撃値吸収エネルギー（常温試験）はベース材に比べて低下しているが、それでもCrMoV鋼（請求項

（１）で比較材として示した鋼種7、8）に比べると十分に高い値を保っている。600℃で15kgf/mm²の荷重を負荷した場合のクリープ破断時間に着目すると、本

発明材はベース材に比べて確実に破断時間がのびていることがわかる。以上のことは、請求項 1 および 2 に示した低合金耐熱鋼のニッケルを排除することで、靱性は若干低下するが、クリーブ破断強度がより一層向上することを示唆している。

【0062】【効果】以上のように、本発明の低合金耐熱鋼は、請求項 1 又は 2 の低合金耐熱鋼に対し靱性につ

いてはやや低下するもののそれ以上に優れた高温強度性を発揮するため、高温用蒸気タービンロータ材として有用である。本発明により、低コストで高効率の発電プラントの建設が可能となり、化石燃料の節約に寄与するとともに二酸化炭素の発生量を抑制するうえで有用である。

【手続補正書】

【提出日】平成 8 年 6 月 2 7 日

【手続補正 1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0013

【補正方法】変更

【補正内容】

【0013】請求項 1 に係る低合金耐熱鋼は、炭素、シリコン、マンガン、クロム、ニッケル、コバルト、バナジウム、モリブデン及び残部が鉄並びに不可避免的不純物からなる組成であり、その重量比を炭素：0.05～0.30%、シリコン：0.005～0.3%、マンガン：0.01～1.0%、クロム：0.8～3.5%、ニッケル：0.1～2.0%、コバルト：0.1～3.5%、バナジウム：0.05～0.4%、モリブデン：0.1～2.5%及び残部が鉄並びに不可避免的不純物からなるものを提案するものである。また、この特定の組成による低合金耐熱鋼より蒸気タービンロータを構成するものを提案するものである。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0016

【補正方法】変更

【補正内容】

【0016】炭素（C）：重量比は0.05～0.30%である。ここで、炭素は、熱処理時の焼入れ性を確保するとともに材料強度を高める効果がある。また、炭化物を形成して高温におけるクリーブ破断強度の向上に寄与する。しかし、本合金系では0.05%未満の添加では十分な効果は得られない。一方、炭素の添加量が多すぎると靱性が低下し、かつ、高温での使用中に炭化物及び／又は炭窒化物が凝集粗大化して、高温長時間クリーブ破断強度を劣化させる。そのため添加量の上限を0.30%とする。よって、添加範囲は、0.05～0.30%が望ましいが、強度特性と優れた靱性を兼ね揃えるために特に望ましい範囲は0.10～0.25%である。

【手続補正 3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0022

【補正方法】変更

【補正内容】

【0022】バナジウム（V）：重量比は0.05～0.4

%である。ここで、バナジウムは熱処理時の焼入れ性を高めるとともに炭化物及び／又は炭窒化物となってクリーブ破断強度を改善する。0.05%未満では十分な効果が得られない。また、逆に0.4%を超える量を添加すると、むしろクリーブ破断強度が低下してしまう。よって、添加範囲は0.05～0.4が望ましい。

【手続補正 4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0023

【補正方法】変更

【補正内容】

【0023】モリブデン（Mo）：重量比は0.1～2.5%である。ここで、モリブデンは熱処理時の焼入れ性を高めるとともにマトリックス中や炭化物及び／又は炭窒化物中に固溶してクリーブ破断強度を改善する。添加量が0.1%以下であれば顕著な効果は期待されない。一方、多量に添加すると不安定な析出物が増加するとともに脆化を引き起こすために、添加量の上限を2.5%に制限している。よって、添加範囲は0.1～2.5%が望ましい。

【手続補正 5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0037

【補正方法】変更

【補正内容】

【0037】タングステン（W）：重量比は0.1～3.0%である。ここで、タングstenはマトリックス中や炭化物及び／又は炭窒化物中に固溶してクリーブ破断強度を改善する。添加量が0.1%以下であれば顕著な効果は期待されない。一方、過剰に添加するとフェライト相が出現、増加するため添加量の上限を3.0%に制限している。よって、添加範囲は0.1%～3.0%が望ましい。

【手続補正 6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0038

【補正方法】変更

【補正内容】

【0038】ニオブ（Nb）：重量比は0.01～0.15%である。ここで、ニオブは炭化物及び／又は炭窒化物を形成して高温強度の改善を寄与する。また、高温で析

出する炭化物及び／又は炭窒化物を微細にして長時間クリープ破断強度の改善に寄与する。添加量が0.01%未満ではその効果はなく、また0.15%を越える量を添加すると、鋼塊製造時に生成したニオブの炭化物あるいは炭窒化物が熱処理（溶体化処理）時にマトリックスに十分に固溶できず、使用中に粗大化して長時間のクリープ破断強度を低下させる。よって、添加範囲を0.01%～0.15%が望ましい。

【手続補正7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0039

【補正方法】変更

【補正内容】

【0039】タンタル（Ta）：重量比は0.01～0.15%である。ここで、タンタルはニオブと同じく炭化物及び／又は炭窒化物を形成して高温強度の改善に寄与する。また、高温で析出する炭化物及び／又は炭窒化物を微細にして長時間クリープ破断強度の改善に寄与する。添加量が0.01%未満ではその効果はなく、また0.15%を越える量を添加すると、鋼塊製造時に生成したタンタルの炭化物及び／又は炭窒化物が熱処理（溶体化処理）時にマトリックスに十分に固溶できず、使用中に粗大化して長時間のクリープ破断強度を低下させる。よって、添加範囲は0.01%～0.15%が望ましい。